

## DESARROLLO DE RESISTENCIA Y EVALUACION DE ASCENSIÓN CAPILAR EN MORTEROS CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ Y MICROSÍLICE

Matiasich, C.<sup>1</sup>, Vitale, G.<sup>1</sup>

### RESUMEN

La importancia del tema reside en la posible utilización de la CCA como adición en morteros y hormigones, debido a que se trata de un subproducto con potenciales propiedades cementicias y de amplia disponibilidad local. En este trabajo se analiza el comportamiento y desarrollo de resistencia de morteros elaborados con adición de ceniza de cáscara de arroz (CCA) y microsílíce (MS), dicho análisis se estudia en el campo de hormigones de alta performance (HAP). Se evaluó la resistencia a tracción y compresión en morteros elaborados con distintos tipos de cementos con reemplazo de 10 % de CCA ó MS, complementariamente se midió la velocidad de ascensión capilar. Los resultados son comparados con morteros elaborados sin adiciones. De los resultados obtenidos se observa que los cementos con adiciones desarrollan mayor resistencia final y menor velocidad de ascensión capilar, representando una ventaja para la durabilidad del material.

### INTRODUCCION

La ceniza de cáscara de arroz es un subproducto de la industria arroceras, que se obtiene por quemado de la cáscara. Actualmente este residuo se utiliza como relleno generando problemas ambientales.

El proceso de quemado tiene gran influencia en las propiedades de la CCA. La combustión controlada de la cáscara genera un 20 % de ceniza con un contenido de sílice que varía entre 88 – 95%. La estructura de la sílice contenida en la ceniza depende de la temperatura y del tiempo de quema a la que estuvo sometida la cáscara. Cuando la cáscara es quemada entre 400 – 500 °C la sílice contenida en la ceniza se encuentra en fase amorfa (reactiva), cuando la temperatura supera los 800 °C la sílice es cristalina (no reactiva) [1].

En la ceniza de cáscara de arroz el efecto químico está relacionado con la alta puzolanidad del material, combinándose con el hidróxido de calcio y formando silicato de calcio hidratado secundario (C-S-H). El efecto físico se relaciona con el tamaño de las partículas refinando la estructura de poros, actuando como puntos de nucleación para los productos de hidratación.

La microsílíce (silica fume) es un subproducto derivado de los hornos de arco voltaico utilizados en la industria de metales silíceos y aleaciones de hierro – síliceo [2]. Este subproducto contiene entre 85 – 90 % de sílice amorfa (reactiva). Las partículas de

---

<sup>1</sup> Becario CIC – LEMIT.

Directores: Ing. G. Giaccio (Investigador CIC-LEMIT- Prof. UNLP)

Dr. R. Zerbino (Investigador CONICET-LEMIT- Prof. UNLP)

[gervasiovitale@hotmail.com](mailto:gervasiovitale@hotmail.com)

microsilíce poseen una superficie específica de 20 a 25 m<sup>2</sup>/g, esto genera una gran demanda de agua en morteros y hormigones perjudicando la trabajabilidad del material. Esta adición es ampliamente utilizada en la elaboración de hormigones de alta resistencia.

Las formas más importantes de degradación o ataque al hormigón están asociadas a la circulación de líquidos con iones agresivos a través de la estructura de poros del material. Estos iones también se pueden propagar dentro de la masa del material por difusión, este es el caso de los iones cloruro que luego producen la despasivación de las armaduras.

En la mayoría de los casos de durabilidad del hormigón la permeabilidad, absorción, absorción capilar y difusión tienen una influencia importante. La mayoría de los ataques al hormigón están relacionados con el transporte de sustancias agresivas a través de la estructura de poros del material por alguno de los mecanismos anteriormente mencionados.

Las adiciones minerales benefician la durabilidad de morteros y hormigones debido a la reacción puzolánica que se produce. Esta reacción genera una densificación del material y una reducción de la estructura de poros del mismo, disminuyendo la permeabilidad del material y mejorando la resistencia.

La calidad del hormigón de recubrimiento es un factor importante en el proceso de corrosión de las armaduras, cómo también tiene influencia en la carbonatación del hormigón.

La medición de la absorción capilar por parte del hormigón se podría utilizar como una indicación de la calidad del recubrimiento. Los hormigones más absorbentes serán los más susceptibles al daño por congelación y deshielo, ingreso de agentes agresivos, cambios de volumen debido a ciclos de mojado y secado, proceso de corrosión de armaduras.

En este trabajo se plantea el desarrollo de resistencia a compresión en morteros elaborados con diferentes cementos y con incorporación de ceniza de cáscara de arroz (CCA) y microsilíce (MS). También se realiza la evaluación de la ascensión capilar sobre diferentes condiciones superficiales de absorción.

## EXPERIENCIAS

Se estudia el desarrollo de resistencia a tracción y compresión entre 1 y 90 días de morteros elaborados con tres tipos de cementos y con adición de CCA y MS. Los mismos son comparados con morteros sin reemplazo de cemento por adiciones. Complementariamente se determina la velocidad de ascensión capilar sobre dos condiciones superficiales diferentes.

## Materiales y mezclas

Se utilizaron tres tipos de cementos, un cemento portland normal (CPN), un cemento portland compuesto (CPC) y un cemento portland fillerizado (CPF). Todos los cementos cumplen con la norma IRAM 50000. En la Tabla 1 se informan las características físicas y el análisis químico de los distintos cementos. La ceniza de cáscara de arroz (CCA)

se obtuvo por quema de la cáscara sin control de temperatura. La misma es de procedencia uruguaya. La microsilice (MS) tiene una superficie específica de  $22800 \text{ Cm}^2 / \text{gr}$ . Los morteros fueron elaborados con una misma arena silíceo natural (módulo de finura 2.27). En los morteros se utilizó un superfluidificante de base naftalénica, para obtener una trabajabilidad aceptable en todas las mezclas.

Se elaboraron morteros de referencia con razón agua/cemento 0.30 con CPN, CPC y CPF y luego se reemplazó 10 %, en volumen, de cemento por CCA y/o MS en el caso de CPN. En todos los morteros la relación arena / ligante fue de 1.60 en peso. Se realiza una comparación del desarrollo de resistencia entre 1 y 90 días de morteros con y sin reemplazo de CCA y MS. En la Tabla 2 se muestran las mezclas elaboradas.

Tabla 1. Características de los cementos empleados.

Identificación		CPC	CPF	CPN
Retenido tamiz 75 micrones	(%)	4	1.9	1.4
Superficie específica Blaine	( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	4440	4146	3405
Peso Específico	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	3.08	3.14	3.15
Pasta de Consistencia Normal	(%)	28	23.7	25.0
Resistencia a compresión	2 días (MPa)	19	12.0	19.9
	7 días (MPa)	34.2	37.2	49.9
	28 días (MPa)	40.5	43.0	-
Pérdida por calcinación	(%)	7.14	6.94	2.22
Trióxido de Azufre ( $\text{SO}_3$ )	(%)	1.80	2.51	-
Oxido de Calcio ( $\text{CaO}$ )	(%)	58.40	62.89	64.59
Dióxido de Sílice ( $\text{SiO}_2$ )	(%)	20.10	19.56	21.02
Oxido de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	(%)	4.72	3.28	3.64
Oxido Férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	(%)	4.50	3.11	3.49
Oxido de Magnesio ( $\text{MgO}$ )	(%)	1.70	0.61	0.74
Oxido de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	(%)	0.14	0.07	0.13
Oxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ )	(%)	0.74	1.03	1.05

Tabla 2. Morteros elaborados

Mezcla	Ligante	C.U.C (Kg. / $\text{m}^3$ )	C.U.CCA (Kg. / $\text{m}^3$ )	C.U.MS (Kg. / $\text{m}^3$ )	P.U.V. (Kg. / $\text{m}^3$ )
1	CPN	810	-	-	2230
2	CPN+10%CCA	745	55	-	2320
3	CPN+10%MS	745	-	55	2220
4	CPC	810	-	-	2300
5	CPC+10%CCA	745	55	-	2290
6	CPF	805	-	-	2280
7	CPF+10%CCA	740	55	-	2310

## Métodos

Se midió el peso unitario (P.U.V) en estado fresco de las diferentes mezclas y se moldearon prismas de 4x4x16 cm los cuales fueron curados en cámara húmeda (20 °C, 98 % HR) hasta la edad de ensayo. A 1, 28 y 90 días se determinaron la resistencia a flexión y compresión (IRAM 1622), la absorción en agua (24 horas) y la densidad. También se determinó la absorción capilar de los morteros.

Para el ensayo de absorción capilar se utilizaron prismas de 4x4 cm de base y 16 cm de alto que previamente fueron ensayados a flexión. Los prismas fueron inmersos en agua a una profundidad de 10 mm (Fig. 1). Las superficies laterales de los prismas fueron selladas con pintura impermeabilizante, sólo quedando la superficie inferior para el contacto con el agua. Las probetas fueron secadas a 50° C, hasta peso constante. La edad de ensayo de las probetas fue de 35 días a partir del moldeo de los cuales 28 días permanecieron en cámara húmeda. (20 °C, 98 % HR) y el resto al aire.

La cantidad de agua absorbida se determina por ganancia de masa de material. Las probetas fueron pesadas a 0, 15, 30 minutos, 1, 1.5, 2, 3, 8, 24 horas. Antes de cada pesada la superficie en contacto con agua de la probeta fue secada cuidadosamente con un paño.

Los resultados de absorción se presentan como la cantidad de agua absorbida por unidad de área ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), versus la raíz cuadrada del tiempo ( $\text{h}^{1/2}$ ). La parte de la curva, correspondiente a las primeras mediciones, representa el llenado de los grandes poros y es llamada absorción inicial. La pendiente de la curva, determinada luego del llenado de los grandes poros y el final del ensayo se denomina tasa de absorción (sorptivity) y representa el llenado de los poros más finos [3, 4].

Se realizó la medición de la ascensión capilar sobre caras con distintas condiciones superficiales. Una condición corresponde a la cara de fractura que se genera luego que el prisma de mortero ha sido ensayado a flexión. La otra condición corresponde a un corte realizado sobre la cara de fractura por medio de una sierra.

El análisis que se realiza busca determinar características cualitativas del proceso de ascensión capilar, como también las variables que tienen mayor influencia en el proceso. La valoración cuantitativa del proceso requiere de una mayor experimentación para tener en cuenta la variabilidad de resultados que tiene el ensayo.

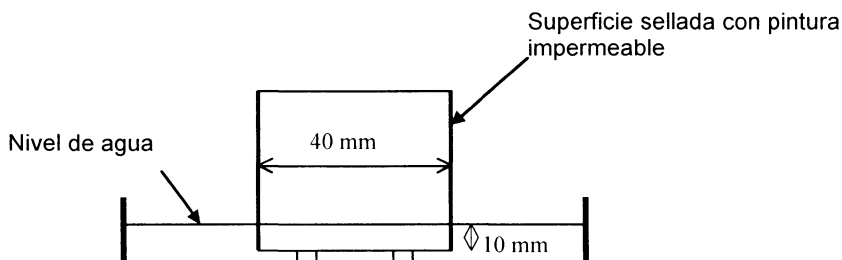


Figura 1. Disposición del ensayo.

RESULTADOS Y ANALISIS

Desarrollo de resistencia

En la Tabla 3 se presentan los resultados de resistencia a flexión y compresión de los morteros. Los valores informados son promedio de tres ensayos en flexión y de cuatro en compresión. También se informa el coeficiente de variación. Se observa que el coeficiente de variación en todos los casos se encuentra por debajo del 10 %.

En las Fig. 2 y 3 se representa el desarrollo de resistencia a compresión y flexión respectivamente. Se observa que la ganancia inicial de resistencia, tanto en compresión como en flexión, es menor en el mortero con CPC y en el mortero con CPC + 10 % CCA, los valores iniciales más altos se dan en los morteros CPN, CPN + 10 % CCA, CPN + 10 % MS. Los morteros elaborados con cemento CPF, con y sin adición de CCA, presentan resistencias iniciales intermedias a las anteriores.

Tabla 3. Resistencia a compresión y flexión.

Mezcla	Ligante	Compresión						Flexión					
		1 día		28 días		90 días		1 día		28 días		90 días	
		MPa	δ	MPa	δ	MPa	δ	MPa	δ	MPa	δ	MPa	δ
1	CPN	44.4	3	79.1	4	-	-	8.6	8	13.4	7	-	-
2	CPN+10%CCA	36.5	3	85.5	4	105.3	2	6.8	1	13.8	6	13.9	5
3	CPN+10%MS	40.4	6	83.4	5	92.3	6	7.4	3	12.4	3	12.5	7
4	CPC	20.2	3	83.1	2	93.3	3	4.6	7	13.4	8	12.5	5
5	CPC+10%CCA	18.6	2	85.2	6	94.0	5	4.1	6	13.1	2	12.9	2
6	CPF	26.8	1	66.8	11	78.5	5	5.5	2	10.9	2	11.4	2
7	CPF+10%CCA	24.8	3	75.0	7	84.8	4	5.0	4	12.4	1	12.0	6
δ: coeficiente de variación (%)													

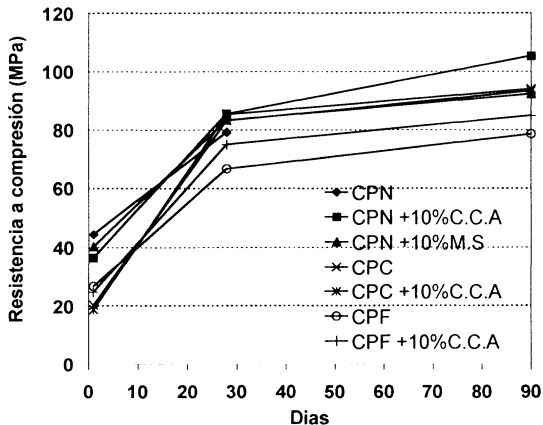


Figura 2. Resistencia a compresión.

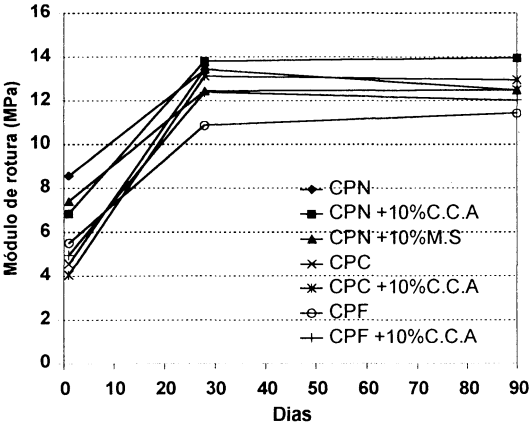


Figura 3. Resistencia a flexión.

A los 90 días se observa una evolución importante de la resistencia a compresión del mortero con cemento CPC +10 % CCA, correspondiéndole un nivel de resistencia similar al elaborado con cemento CPN + 10 % MS. A esta edad el mayor nivel de resistencia a compresión se alcanzó con el mortero CPN + 10 % CCA. De la Fig. 3 se observa un comportamiento de un orden similar del desarrollo de resistencia a flexión.

La Fig. 4 compara los valores de resistencia de cada mortero con los del mortero sin incorporación de CCA o MS. Es posible observar que el reemplazo de un 10 % en volumen de cemento por CCA produjo a partir de los 28 días incrementos de resistencia. A la edad de un día las mayores reducciones se produjeron en CPN al usar CCA. El cemento con filler calcáreo es el que se vio mas beneficiado por el reemplazo de cemento por CCA.

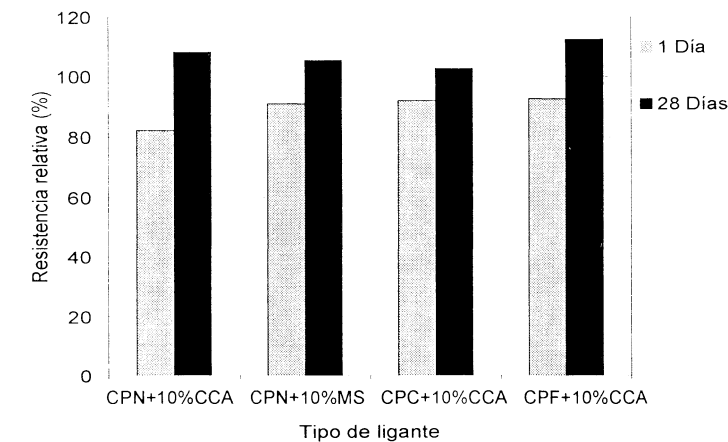


Figura 4. Relación entre la resistencia a compresión de los morteros con adición y de los morteros de referencia.

Absorción

En la Tabla 4 se observa la absorción de las distintas mezclas entre 1 y 90 días, cada valor es el promedio de dos determinaciones, también se informa el coeficiente de variación. Se observa que los valores de absorción a distintas edades son similares, correspondiendo las mayores absorciones a los morteros CPF y CPF+10%CCA. Cabe indicar que en los valores de densidad medidos no se apreciaron diferencias sustanciales.

Tabla 4. Absorción

Mezcla	Ligante	Absorción					
		1 día		28 días		90 días	
		(%)	δ (%)	(%)	δ (%)	(%)	δ (%)
1	CPN	6.8	< 1	6.4	1	-	-
2	CPN+10%CCA	7.1	< 1	6.3	1	6.2	2
3	CPN+10%MS	6.3	2	6.1	3	6.4	1
4	CPC	7.4	1	6.9	2	6.7	1
5	CPC+10%CCA	7.5	< 1	7.2	1	6.8	1
6	CPF	7.8	< 1	7.1	< 1	7.4	< 1
7	CPF+10%CCA	8.4	< 1	7.0	< 1	7.5	3

## Absorción capilar

En las Fig. 5 y 6 se presentan los resultados de ascensión capilar obtenidos para las caras correspondientes a fractura y corte respectivamente. Todos los ensayos se realizaron en simultáneo y en iguales condiciones, por lo que pueden compararse para ver el aporte de la ceniza de cáscara de arroz (CCA). Cada punto representa el resultado de un único ensayo.

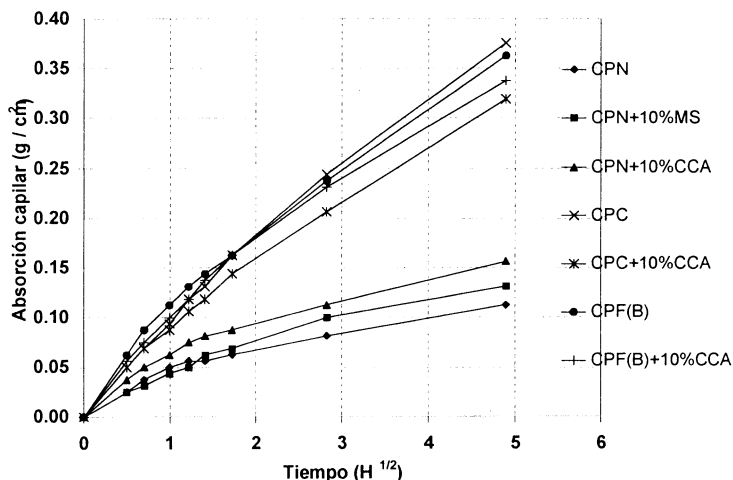


Figura 5. Absorción capilar cara de fractura.

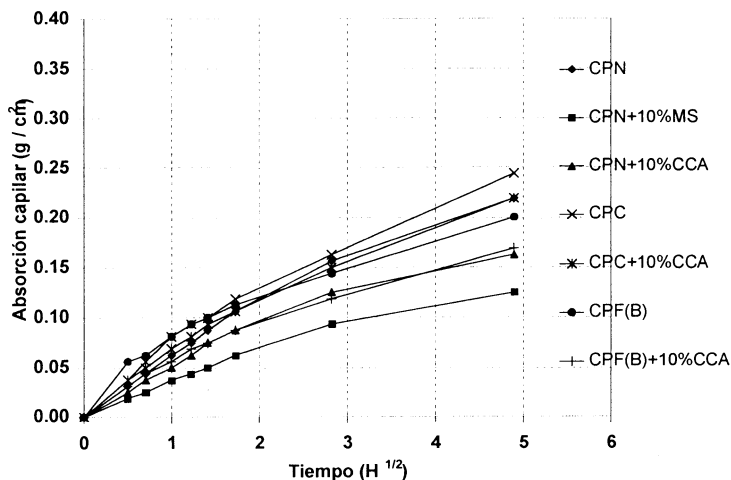


Figura 6. Absorción capilar cara de corte.

De las Fig. 5 y 6 se observa que en general los morteros elaborados a partir de un cemento portland normal (CPN) presentan menor absorción capilar final, comparado con los morteros elaborados a partir de cemento con adiciones (CPC, CPF).

Tabla 5. Tasa de absorción.

Tipo de cemento y cara de ensayo	Tasa de absorción ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ )
CPN corte	0.040
CPN + 10% MS corte	0.022
CPN + 10% CCA corte	0.029
CPN fractura	0.016
CPN + 10% MS fractura	0.022
CPN + 10% CCA fractura	0.024
CPC corte	0.042
CPC + 10% CCA corte	0.038
CPC fractura	0.072
CPC + 10% CCA fractura	0.059
CPF(B) corte	0.030
CPF(B)+10% CCA corte	0.029
CPF(B) fractura	0.064
CPF(B)+10% CCA fractura	0.061

En la Tabla 5 se presentan los valores obtenidos de tasa de absorción de los morteros.

La tasa de absorción se obtuvo trazando la recta que une el punto correspondiente a la absorción capilar a 1 hora con el punto correspondiente a la última hora y luego determinando la pendiente de dicha recta. Se debe prestar atención a que en los gráficos de absorción capilar el tiempo se expresa como  $\text{h}^{1/2}$ .

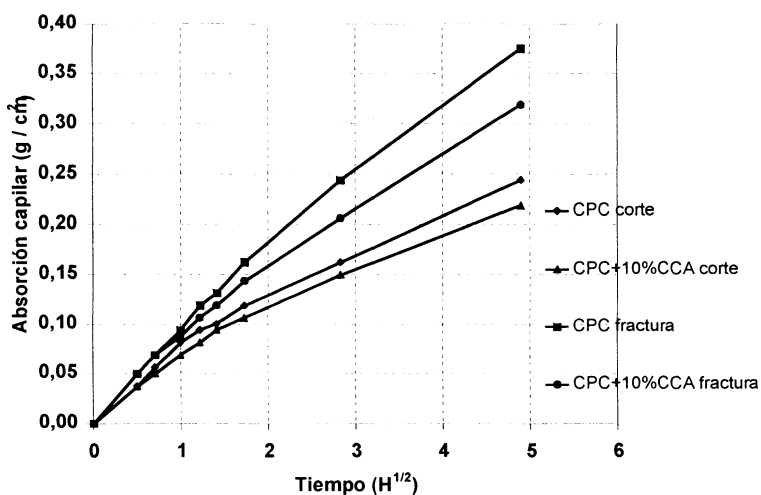


Figura 7. Absorción capilar CPC + adiciones.



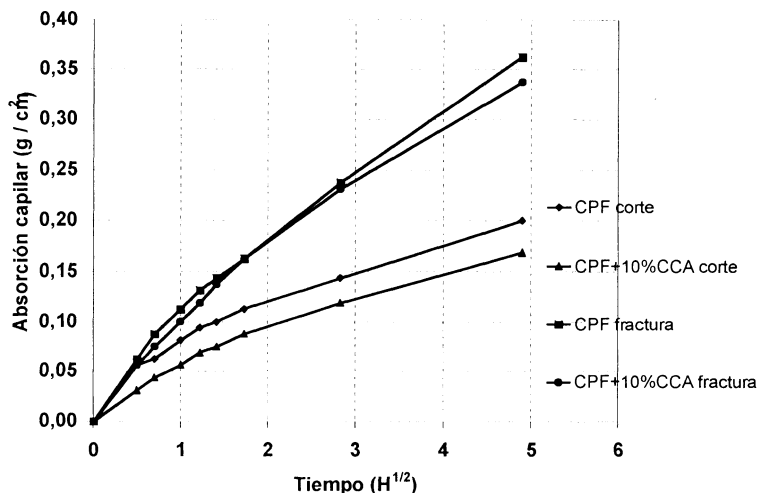


Figura 8. Absorción capilar CPF + adiciones.

En las Fig. 7 y 8 se observa que la absorción final y la velocidad de ascensión capilar es mayor en los morteros evaluados sobre la cara de fractura, comparados con los morteros evaluados sobre la cara de corte. Los morteros elaborados con la incorporación de CCA ó MS presentan menores valores de absorción final y velocidad de absorción, tanto en la evaluación sobre la cara de fractura como en la de corte.

Otras variables que dominan el proceso son la condición de confinamiento de la probeta de ensayo que va a influir sobre el porcentaje de humedad bajo el cual el ensayo se lleva a cabo, en el caso estudiado el ensayo se llevó a cabo en condiciones de laboratorio. (22°C, 55 % H.R.). También tiene influencia sobre el proceso la forma en la que se realiza el secado de la probeta.

## CONCLUSIONES

El reemplazo de cemento por ceniza de cáscara de arroz produjo mejoras en la resistencia a compresión de morteros aún superiores a las generadas por los morteros con reemplazo de microsilíce, que es considerada una excelente puzolana. Esta es mayor en los morteros elaborados con cemento portland fillerizado.

Así como pasó con microsilíce, la absorción capilar de los morteros con ceniza de cáscara de arroz tuvo un mejor comportamiento que los morteros elaborados sin adiciones. Esto representa una ventaja desde el punto de vista de la durabilidad del material.

Considerando las variables que dominan el proceso de ascensión capilar se analizó la condición superficial de la cara de ensayo. En los resultados obtenidos se observa una mayor absorción final y mayor velocidad de ascensión en las muestras evaluadas sobre la cara de fractura.

## REFERENCIAS

1. Rodríguez de Sensale, G., Dal Molin, D.C.C. "Estudio sobre la influencia de la ceniza de cáscara de arroz en la resistencia a compresión del hormigón a diferentes edades", en: 1<sup>er</sup> Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, Buenos Aires, Argentina, 1998, pp. 365-378.
2. Silveira, A., Dal Molin, D.C.C. "Adicao de microssilica e cinza da casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos", en: XII Reunión Técnica AATH, La Plata, Argentina, 1995, pp 221-228.
3. Camarini, G., Balayssac, J. P., Detriché, CH. H., "Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete", in: Proc. Second CANMET / ACI International Conference Gramado, RS, Brazil, SP 185-25, 1999, pp.427-443.
4. Menéndez, G., Bonavetti, V., Irassar, E.F., "Absorción capilar en hormigones con cemento compuesto", Hormigón 38, 2002, pp. 25-34.